

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international

24 JAN 2005

(43) Date de la publication internationale  
5 février 2004 (05.02.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
WO 2004/011687 A2(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : C22C 21/00(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2003/002350

(22) Date de dépôt international : 25 juillet 2003 (25.07.2003)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
02/09444 25 juillet 2002 (25.07.2002) FR(71) Déposants (pour tous les États désignés sauf US)  
: SNECMA MOTEURS [FR/FR]; 2, boulevard du  
Général Martial Valin, F-75015 Paris (FR). FORGES  
DE BOLOGNE [FR/FR]; 39, route des Forges, F-52310  
Bologne (FR).

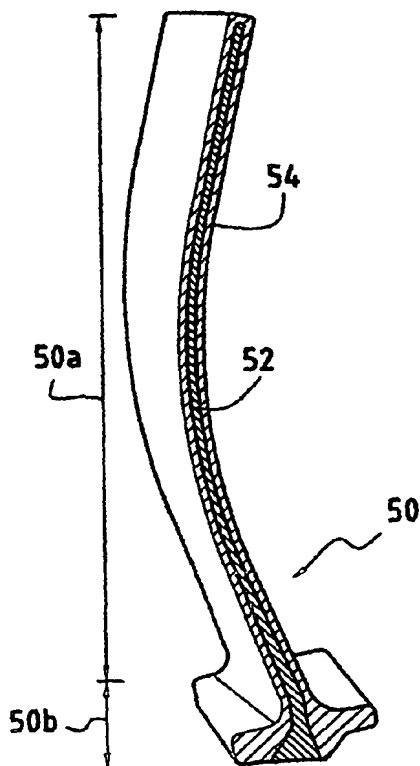
(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) :  
PESLERBE, Isabelle [FR/FR]; 2, rue de Saint-Arnoult,  
F-91340 Ollainville (FR). TSCHOFEN, Jacques [FR/FR];  
31, rue des Forges, F-52310 Bologne (FR). THENAISIE,  
Anne [FR/FR]; 3, square J. Guesde, F-91000 Evry (FR).(74) Mandataires : DRONNE, Guy etc.; 158, rue de l'Univer-  
sité, F-75340 Paris Cedex 07 (FR).(81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT (modèle  
d'utilité), AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH,  
CN, CO, CR, CU, CZ (modèle d'utilité), CZ, DE (modèle  
d'utilité), DE, DK (modèle d'utilité), DK, DM, DZ, EC, EE  
(modèle d'utilité), EE, ES, FI (modèle d'utilité), FI, GB,  
GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG,  
KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: MECHANICAL COMPONENT, AND METHOD FOR MAKING SAME

(54) Titre : PIECE MECANIQUE, ET PROCEDE DE FABRICATION D'UNE TELLE PIECE MECANIQUE.



(57) Abstract: The invention concerns a mechanical component (50) having one main direction along which extend a core zone forming a core (52) and a peripheral zone forming a shell (54), said core (52) and said shell (54) having between them a metallurgical connection, said core (52) being made of a first material having at least one metal matrix and said shell (54) being made of a second material having at least one metal matrix. The invention is characterized in that said metal matrices of the first and the second materials have the same base metal and at least one of the first and the second materials is formed of a metal composite matrix comprising reinforcing elements dispersed in said metal matrix. Preferably, said mechanical component is used as blade for a fan or low pressure compressor.

(57) Abrégé : La pièce mécanique (50) selon l'invention présente une direction principale le long de laquelle s'étendent une zone de coeur formant un noyau (52) et une zone périphérique formant une enveloppe (54), ledit noyau (52) et ladite enveloppe (54) présentant entre eux une liaison métallurgique, ledit noyau (52) étant réalisé dans un premier matériau présentant au moins une matrice métallique et ladite enveloppe (54) étant réalisée dans un deuxième matériau présentant au moins une matrice métallique. De façon caractéristique, lesdites matrices métalliques du premier et du deuxième matériaux présentent le même métal de base et l'un au moins parmi lesdits premier et deuxième matériaux est formé d'un composite à matrice métallique comprenant des éléments de renforcement dispersés dans ladite matrice métallique. De préférence, cette pièce mécanique est utilisée en tant qu'aube pour une soufflante ou un compresseur basse pression.

BEST AVAILABLE COPY

WO 2004/011687 A2



MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK (modèle d'utilité), SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

- (84) États désignés (*régional*) : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK,

TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport*

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

**Pièce mécanique, et procédé de fabrication d'une telle pièce mécanique**

La présente invention concerne l'obtention d'une pièce mécanique  
5 présentant une direction principale le long de laquelle s'étendent une zone  
de cœur formant un noyau et une zone périphérique formant une  
enveloppe qui entoure ledit noyau, ledit noyau et ladite enveloppe  
présentant entre eux une liaison métallurgique, ledit noyau étant réalisé  
10 dans un premier matériau présentant au moins une matrice métallique et  
ladite enveloppe étant réalisée dans un deuxième matériau présentant au  
moins une matrice métallique.

Elle concerne plus précisément:

- une pièce mécanique réalisée avec deux parties formées d'un  
noyau réalisé dans un premier matériau présentant au moins une matrice  
15 métallique et d'une enveloppe réalisée dans un deuxième matériau  
présentant au moins une matrice métallique; et

- un procédé de fabrication qui permet l'obtention, par sa mise  
en oeuvre, de ladite pièce mécanique précitée.

En particulier, de manière non limitative, la présente invention  
20 concerne l'obtention d'une pièce mécanique pour laquelle la matrice  
métallique du premier matériau et/ou du deuxième matériau présente  
l'aluminium comme métal de base.

Dans une application préférée, mais non limitative, la présente  
invention concerne une pièce mécanique utilisée dans le secteur  
25 aéronautique, en particulier comme aube mobile ou fixe d'un  
compresseur, notamment basse pression, ou bien comme aube de  
soufflante (« fan ») de turboréacteur.

Toutefois, la présente invention n'est pas destinée à être limitée  
à la réalisation d'aubes ni à n'être appliquée seulement au secteur  
30 aéronautique : d'autres types de pièces mécaniques peuvent être  
envisagées, notamment dans les secteurs des machines-outils ou dans le  
secteur automobile, comme des carters, des tubes, des cylindres ou des  
pièces d'usure dans le domaine du freinage.

Spécifiquement, des pièces mécaniques de plus en plus légères  
35 et présentant de bonnes caractéristiques de résistance mécanique et de  
tenue en température sont requises, pour des applications de divers types.

Ainsi, en particulier dans le domaine aéronautique, et plus précisément dans les turboréacteurs, sont recherchés des matériaux avec des caractéristiques de résistance mécanique et de tenue à la température optimales, notamment pour la fabrication des aubes fixes et/ou mobiles.

5 A l'heure actuelle, les alliages de titane sont largement utilisés à cet effet, ce qui a notamment pour inconvénients des coûts important de matière première ainsi qu'un poids parfois encore considéré comme trop important.

10 Des solutions visant à la réalisation de pièces creuses en titane permettant d'alléger les structures sont aussi utilisées, ce qui engendre des techniques de fabrication relativement sophistiquées et coûteuses.

On peut se référer au document US 6 218 026 qui propose la réalisation d'une pièce mécanique hybride composée notamment de deux alliages différents de titane respectivement disposés à l'emplacement de parties interne et externe de la pièce. Selon ce document de l'art  
15 antérieur, la partie interne et la partie externe sont reliées entre elles par une liaison métallurgique obtenue par pressage isostatique à chaud.

En tout état de cause, on vise à obtenir une pièce mécanique dont le module d'élasticité est plus important dans la partie interne que dans la partie externe afin d'améliorer les propriétés mécaniques de la  
20 pièce sans altérer particulièrement sa densité.

Toutefois, l'intervention d'un alliage de titane est par ailleurs préjudiciable du point de vue de la masse de la pièce mécanique et du coût de matière première tandis que la technique de pressage isostatique  
25 à chaud est lourde à mettre en œuvre.

La présente invention a pour objectif de pallier les inconvénients de ces techniques de l'art antérieur en proposant une pièce mécanique et son procédé de fabrication à l'aide de techniques métallurgiques simples à mettre en oeuvre.

30 Selon un de ses aspects, la présente invention concerne donc une pièce mécanique présentant une direction principale le long de laquelle s'étendent une zone de cœur formant un noyau et une zone périphérique formant une enveloppe qui entoure ledit noyau, ledit noyau et ladite enveloppe présentant entre eux une liaison métallurgique, ledit  
35 noyau étant réalisé dans un premier matériau présentant au moins une

matrice métallique et ladite enveloppe étant réalisée dans un deuxième matériau présentant au moins une matrice métallique.

De façon caractéristique, lesdites matrices métalliques du premier et du deuxième matériaux présentent le même métal de base et l'un au moins parmi lesdits premier et deuxième matériaux est formé d'un composite à matrice métallique comprenant des éléments de renforcement dispersés dans ladite matrice métallique.

De cette manière, on comprend qu'il est possible d'obtenir une pièce présentant un noyau et une enveloppe entre lesquelles est formée une interface formée d'une liaison physico-chimique de très bonne qualité du fait de la similitude entre les premier et deuxième matériaux qui comportent le même métal de base.

Les caractéristiques de l'interface entre deux matériaux formant une pièce, que l'on peut donc qualifier de complexe, sont d'une grande importance, en particulier lorsque l'un au moins de ces matériaux est un composite à matrice métallique : l'identité entre le métal de base rentrant dans la composition des premier et deuxième matériaux est à cet égard d'une grande importance dans l'obtention d'un noyau et d'une enveloppe formant entre eux une liaison métallurgique présentant une grande résistance mécanique.

En outre, cet agencement permet, par la présence des éléments de renforcement, dans l'un au moins parmi le premier matériau et le deuxième matériau, d'améliorer les propriétés de résistance mécanique et, éventuellement de tenue en température, de la pièce dans la partie que l'on souhaite renforcer, tout en conservant globalement une densité similaire à celle de la matrice métallique.

On note incidemment que selon l'application envisagée pour la pièce mécanique, soit l'un seulement parmi le premier matériau (noyau) et le deuxième matériau (enveloppe), soit à la fois le premier matériau et le deuxième matériau (noyau et enveloppe), est (sont) constitué(s) d'un composite à matrice métallique comprenant des éléments de renforcement dispersés dans ladite matrice métallique.

Dans ce dernier cas, la composition du premier matériau est différente de celle du deuxième matériau, au moins en ce qui concerne la proportion des éléments de renforcement.

Les dispositions suivantes sont de préférence adoptées, de manière indépendante ou combinée :

- ledit métal de base est l'aluminium ;
- lesdites matrices métalliques du premier et du deuxième matériaux sont respectivement formées d'un premier alliage et d'un deuxième alliage, ledit premier alliage et ledit deuxième alliage appartenant aux alliages à base d'aluminium des séries 2000, 5000, 6000 ou 7000 selon les normes ASTM ; de préférence, ledit premier alliage et ledit deuxième alliage appartiennent à la même série d'alliage à base d'aluminium parmi lesdites séries 2000, 5000, 6000 ou 7000 selon les normes ASTM, en particulier à la série 2000 ;
- éléments de renforcement sont des particules de carbure de silicium (SiC), d'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ou de carbure métallique tel que carbure de tungstène, de bore ou de titane ;
- lesdits éléments de renforcement représentent au plus 50% en poids de la composition dudit composite à matrice métallique ; de préférence, lesdits éléments de renforcement représentent entre 5 et 35%, de préférence entre 10 et 20%, et de préférence de l'ordre de 15% en poids de la composition dudit composite à matrice métallique ;
- l'un parmi lesdits premier et deuxième matériaux est formé dudit composite à matrice métallique comprenant lesdits éléments de renforcement dispersés dans ladite matrice métallique, l'autre parmi lesdits premier et deuxième matériaux étant formé seulement de ladite matrice métallique ;
- ledit premier matériau est formé seulement de ladite matrice métallique qui comporte l'aluminium comme métal de base et ledit deuxième matériau est formé dudit composite à matrice métallique comprenant lesdits éléments de renforcement dispersés dans ladite matrice métallique, ladite matrice métallique ayant l'aluminium comme métal de base et lesdits éléments de renforcement étant formés de particules de carbure de silicium (SiC) : ce choix préférentiel permet de bénéficier de la bonne tenue à l'érosion et à l'impact de l'Al/SiC et de sa rigidité plus importante ;
- lesdits premier et deuxième matériaux sont formés dudit composite à matrice métallique comprenant lesdits éléments de renforcement dispersés dans ladite matrice métallique, lesdits éléments de

renforcement représentant un pourcentage en poids de la composition dudit composite à matrice métallique différent dans ledit noyau et dans ladite enveloppe ;

5       - lesdits éléments de renforcement représentent un pourcentage en poids de la composition dudit composite à matrice métallique progressif dans ledit premier matériau et dans ledit deuxième matériau, depuis le centre dudit noyau vers la périphérie de ladite enveloppe ;

10       - ledit premier matériau présente, pour lesdits éléments de renforcement, un pourcentage en poids de la composition dudit composite à matrice métallique plus important que dans ledit deuxième matériau ;

      - ledit deuxième matériau présente, pour lesdits éléments de renforcement, un pourcentage en poids de la composition dudit composite à matrice métallique plus important que dans ledit premier matériau.

15       Selon une application préférentielle, mais non limitative, de la pièce mécanique selon l'invention, on considère une aube constituée de ladite pièce mécanique.

20       Une telle aube peut appartenir à un compresseur, en particulier basse pression, que ce soit en tant qu'aube fixe ou en tant qu'aube mobile.

      Egalement, une telle aube peut s'appliquer à la réalisation d'une soufflante de turboréacteur.

25       Selon un autre aspect, la présente invention concerne le procédé de fabrication qui permet l'obtention, par sa mise en oeuvre, de ladite pièce mécanique précitée.

      De manière générale, le procédé de fabrication selon la présente invention permet l'obtention d'une pièce mécanique, par la mise en oeuvre des étapes suivantes :

30       a) on réalise par compactage un demi-produit contenant un noyau et une enveloppe, ledit noyau et ladite enveloppe présentant entre eux une liaison métallurgique, ledit noyau étant réalisé dans un premier matériau présentant au moins une matrice métallique et ladite enveloppe étant réalisée dans un deuxième matériau présentant au moins une matrice métallique, lesdites matrices métalliques du premier et du  
35       deuxième matériaux présentant le même métal de base et en l'un au moins parmi lesdits premier et deuxième matériaux étant formé d'un

composite à matrice métallique comprenant des éléments de renforcement dispersés dans ladite matrice métallique,

b) on réalise le forgeage du demi-produit pour obtenir une ébauche, et

c) on usine ladite ébauche pour aboutir à un produit fini formant ladite

5 pièce mécanique .

Concernant la réalisation de l'étape a), plusieurs solutions sont possible sans sortir du cadre de la présente invention.

Selon une première solution, ladite étape a) consiste à former conjointement le noyau et l'enveloppe par la technique de métallurgie des  
10 poudres. Selon cette technique, qui met en oeuvre la compression d'une poudre dans une matrice, suivie d'un traitement thermique dit « frittage », il est ainsi possible d'obtenir une pièce métallique formant directement le demi-produit.

Cette première solution est en particulier bien adaptée à la  
15 situation dans laquelle on souhaite obtenir une pièce mécanique où lesdits éléments de renforcement représentent un pourcentage en poids de la composition dudit composite à matrice métallique progressif dans ledit premier matériau (noyau) et dans ledit deuxième matériau (enveloppe), depuis le centre dudit noyau vers la périphérie de ladite enveloppe, soit en  
20 diminuant depuis le centre, soit en augmentant depuis le centre, entre par exemple, un minimum de 0% à 10% et un maximum inférieur ou égale à 50% en poids.

Cette première solution ne se limite toutefois pas au cas de figure qui précède et il peut s'appliquer également aux deux cas  
25 mentionnés ci-après :

- lesdits premier et deuxième matériaux sont formés dudit composite à matrice métallique comprenant lesdits éléments de renforcement dispersés dans ladite matrice métallique, lesdits éléments de renforcement représentant un pourcentage en poids de la composition dudit composite à matrice métallique différent dans ledit noyau et dans ladite enveloppe,  
30 - l'un parmi lesdits premier et deuxième matériaux est formé dudit composite à matrice métallique comprenant lesdits éléments de renforcement dispersés dans ladite matrice métallique, l'autre parmi lesdits premier et deuxième matériaux étant formé seulement de ladite  
35 matrice métallique.

Selon une deuxième solution, ladite étape a) consiste à réaliser successivement les sous-étapes suivantes :

- a1) former une tige s'étendant selon une direction longitudinale dans ledit premier matériau, ladite tige étant destinée à former ledit noyau placé au cœur de la pièce mécanique ;
- a2) former un manchon s'étendant selon une direction longitudinale dans ledit deuxième matériau, ledit manchon étant destinée à former l'enveloppe de la pièce mécanique en entourant ledit noyau ;
- a3) introduire la tige dans le manchon pour former un ensemble, et
- a4) passer à travers un orifice de section réduite ledit ensemble pour diminuer au moins une dimension dudit ensemble selon une direction perpendiculaire à ladite direction longitudinale et afin de créer une liaison métallurgique entre ladite tige et le dit manchon.

Cette deuxième solution est en particulier bien adaptée à la situation dans laquelle on souhaite obtenir une pièce mécanique où lesdits éléments de renforcement ne sont présents que dans l'un, parmi lesdits premier et deuxième matériaux, l'autre parmi lesdits premier et deuxième matériaux étant formé seulement de ladite matrice métallique. On privilégie alors la réalisation de celui parmi le noyau (premier matériau) et l'enveloppe (deuxième matériau) qui comporte les éléments de renforcement par la technique de métallurgie des poudres.

La sous-étape a4) de la deuxième solution de l'étape a), consiste à effectuer, de préférence, un laminage ou un filage de l'ensemble, c'est-à-dire par passages successifs, en force et à chaud, entre des paires de cylindres de plus en plus rapprochés ou dans des filières de section de plus en plus petite.

D'une manière générale, cette étape a) utilise une technique réalisant le compactage, en particulier la mise sous pression entre le noyau et l'enveloppe, soit au moment de leur formation conjointe (première solution), soit au moment de leur formation initiale en tant que pièces séparées (deuxième solution), de manière à créer entre les matériaux les constituant une liaison de type métallurgique engendrant une bonne interface.

Il est entendu que cette liaison de type métallurgique forme un contact plus intime qu'une liaison mécanique, les premier et deuxième matériaux étant si proches que les forces inter-atomiques entrent en jeu.

Une telle interface permettra à la pièce mécanique de résister de manière satisfaisante aux différentes contraintes auxquelles elle est soumise.

Concernant la réalisation de l'étape b) de forgeage, plusieurs solutions sont possible sans sortir du cadre de la présente invention.

5           En effet, le forgeage consiste d'une manière générale en une opération métallurgique qui a pour objet de transformer les lingots en ébauches de forme déterminée par déformation d'un métal porté à une température où il est suffisamment malléable, la déformation étant obtenue soit par choc (pilon, mouton), soit par pression (presses avec  
10       matrice fermée) entre deux outils.

Selon une solution préférentielle, cette étape de forgeage consiste en un matriçage ou estampage. D'autres possibilités de forgeage peuvent également être utilisées seules, ou en combinaison avec le matriçage : forgeage sous presse , par pilon...

15           En particulier, le procédé de fabrication selon la présente invention s'applique à un premier matériau qui est formé seulement de ladite matrice métallique qui comporte l'aluminium comme métal de base et à un deuxième matériau qui est formé dudit composite à matrice  
20       métallique comprenant lesdits éléments de renforcement dispersés dans ladite matrice métallique, ladite matrice métallique ayant l'aluminium comme métal de base et lesdits éléments de renforcement étant formés de particules de carbure de silicium (SiC) : ce choix préférentiel permet de  
25       bénéficier d'une très bonne interaction entre un alliage d'aluminium et des particules de SiC, comme il est expliqué dans US 6 135 195, pour un matériau dont le prix est plus faible que celui du titane.

En outre, le choix de l'aluminium comme métal de base permet de bénéficier de ses bonnes propriétés d'allongement, notamment pour l'étape de forgeage et également, dans le cas de la deuxième solution de l'étape a), lors de l'étape a4) de passage dans un orifice de section plus  
30       réduite (laminage ou filage), ainsi que de sa bonne tenue à la corrosion.

L'invention sera mieux comprise, et les caractéristiques secondaires et leurs avantages apparaîtront au cours de la description de modes de réalisation de la pièce mécanique selon l'invention donnée ci-dessous à titre d'exemple.

35           Il est entendu que la description et les dessins ne sont donnés qu'à titre indicatif et non limitatif.

Il sera fait référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 est une vue en section longitudinale partielle d'un turboréacteur double-flux montrant une soufflante et un accélérateur illustrant à titre d'exemple des applications possibles de la pièce mécanique selon la présente invention,

- la figure 2 est une vue en coupe longitudinale de l'agencement permettant la réalisation de l'une des étapes du procédé de fabrication selon la présente invention selon l'une des solutions possibles,

- les figures 3 et 4 sont des vues en perspective d'aubes tronquées à leur extrémité radialement externe qui illustrent des applications possibles de la pièce mécanique selon la présente invention, et

- la figure 5 est une vue en perspective partielle avec coupe selon la direction longitudinale d'une autre aube pouvant former la pièce mécanique selon la présente invention.

Un exemple des applications possibles de la pièce mécanique selon la présente invention est représenté à la figure 1 sous la forme d'un turboréacteur double-flux 100.

Ce turboréacteur 100 comprend une structure conventionnelle qui comporte différents éléments disposés axialement autour de l'axe longitudinal 102, en communication de fluide entre eux, à savoir notamment une soufflante 104 et un accélérateur 106.

Il est entendu qu'un tel turboréacteur comprend les autres éléments conventionnels d'une telle structure, à savoir un compresseur haute pression, une chambre de combustion, une turbine haute pression et une turbine basse pression, ces différents éléments supplémentaires n'étant pas représentés pour des raisons de clarté.

La soufflante 104 et l'accélérateur 106 sont menés en rotation par la turbine basse pression grâce à l'axe de rotor 108.

La soufflante 104 comprend une série d'aubes 110 s'étendant radialement qui sont montées sur un disque annulaire 112 : une seule de ces aubes apparaît sur la figure 1. Il est entendu que le disque 112 et les aubes 110 sont montés en rotation autour de l'axe 102 du moteur 100.

Le moteur 100 comporte en outre un carter de soufflante 114.

L'accélérateur 106 comprend plusieurs séries d'aubes mobiles 116 en rotation montées sur un disque 118 et entre lesquelles sont montées des séries d'aubes fixes 120.

La présente invention concerne l'obtention d'une pièce  
5 mécanique pouvant constituer en particulier chacune des aubes 110 de la soufflante 104 et/ou chacune des aubes mobiles 116 et/ou des aubes fixes 120 de l'accélérateur 106.

Egalement, la pièce mécanique selon la présente invention peut également constituer les aubes fixes et/ou mobiles d'autres éléments d'un  
10 turboréacteur, identique ou différent de celui illustré sur la figure 1, tel qu'un compresseur, en particulier un compresseur basse pression.

Comme il a été mentionné précédemment, il convient de rappeler que la pièce mécanique selon la présente invention peut également trouver application dans d'autres domaines que celui de  
15 l'aéronautique pour la formation d'éléments structurels devant résister mécaniquement tout en présentant une structure relativement légère.

Un exemple de réalisation du procédé de fabrication selon la présente invention permettant l'obtention des aubes mentionnées précédemment va maintenant être décrit.

20 Dans cet exemple de réalisation non limitatif, on considère la réalisation d'une aube composé d'un noyau réalisé dans un premier matériau formé d'un alliage à base d'aluminium et d'une enveloppe réalisée dans un deuxième matériau formé d'un composite à matrice métallique dans lequel la matrice métallique est un alliage à base  
25 d'aluminium et les éléments de renforcement sont des particules de carbure de silicium (SiC).

Dans ce cas, est tout d'abord formée une tige 10 en aluminium par les techniques classiques de fabrication des alliages en aluminium.

Est également fabriqué un manchon 20 réalisé dans le deuxième  
30 matériau précité formant un composé à matrice métallique qui peut être obtenu par la technique de métallurgie des poudres.

La prochaine étape consiste à introduire la tige 10 à l'intérieur du manchon 20 afin de former un ensemble 30 : il est clair qu'à ce stade il existe un jeu, voire un espace entre la surface extérieure de la tige 10 et  
35 la surface intérieure de la paroi du manchon 20.

Afin de solidariser entre eux la tige 10 et le manchon 20 de l'ensemble 30, tout en réalisant une bonne interface entre ces deux éléments, on choisit d'effectuer un filage qui est représenté sur la figure 2.

5 Sur cette figure 2, l'ensemble 30 apparaît comme étant introduit dans l'entrée 40 d'une filière 42. Cette entrée 40 présente une forme de tronc de cône avec un angle au centre  $\alpha$  formant l'angle de réduction. Cette entrée 40 présente un diamètre amont supérieur au diamètre extérieur du manchon 20, tandis que le diamètre aval de l'entrée 40 présente un diamètre inférieur au diamètre de la tige 10.

10 En conséquence, l'ensemble 30 est, lors du passage en force et à chaud au niveau de l'entrée 40 de la filière 42, réduit en section par allongement, une interface étant créée entre la tige 10 et le manchon 20 qui forment conjointement de cette manière un demi-produit complexe 32 à la sortie 44 de la filière 42.

15 Il est entendu que l'étape de filage illustrée sur la figure 2 peut comporter plusieurs passages successifs dans des filières présentant des diamètres de plus en plus petits.

Dans l'exemple de réalisation illustré, l'angle de réduction  $\alpha$  est égal à  $30^\circ$ , cet angle de réduction pouvant varier d'une manière générale  
20 entre  $1^\circ$  et  $45^\circ$  et de préférence entre 5 et  $35^\circ$ .

De cette manière, on obtient une réduction de section entre l'ensemble 30 et le demi-produit complexe 32 de l'ordre de 10 à 70 % et, de préférence, entre 20 et 60 %.

On peut relever que cette technique de filage, notamment  
25 lorsqu'elle est effectuée par le passage successif dans des filières en série, permet, par la pression exercée entre les surfaces en contact par friction, une bonne cohésion entre les matériaux constituant le noyau et l'enveloppe.

Cet exemple de réalisation a été réalisé avec une tige 10  
30 présentant un diamètre de 30 mm réalisée dans un alliage d'aluminium de série 2024 T4, tandis que le manchon 20 présentait un diamètre extérieur de 70 mm et un diamètre intérieur de 40 mm en étant réalisé dans un deuxième matériau formant un composite à matrice métallique, la matrice métallique étant un alliage d'aluminium de série 2024 T4 et l'élément de  
35 renforcement étant composé de particules de carbure de silicium d'une taille moyenne de 5  $\mu\text{m}$  à hauteur de 15 % en poids.

Un tel filage peut être effectué à température ambiante ou bien à chaud, en particulier avec une température de l'ordre de 400°C.

Après le filage, l'étape ultérieure de l'exemple de réalisation décrit de manière détaillée consiste à effectuer un forgeage par matriçage  
5 en vue de donner la forme quasi-définitive de l'aube.

Ce matriçage est réalisé par des étapes successives dans des matrices tendant progressivement à présenter la forme définitive de l'aube dans des conditions de pression et de température adaptées aux matériaux pour maintenir une bonne interface et une bonne adhésion  
10 entre le noyau et l'enveloppe : une température de l'ordre de 430°C et une pression de l'ordre de 100 MPa ont notamment été utilisées.

A l'issue de ces étapes de forgeage par matriçage du demi-produit 32, on obtient une ébauche (non représentée) qui est ensuite usinée pour aboutir à un produit fini formant la pièce mécanique selon  
15 l'invention, en particulier une aube telle que celles qui sont représentées sur les figures 3 à 5.

Sur ces figures, l'aube 50 qui est représentée conformément à différentes formes comporte un noyau 52 réalisé dans le premier matériau constituant initialement la tige 10, tandis que l'enveloppe 54 entourant le  
20 noyau 52 est réalisée dans le deuxième matériau formant initialement le manchon 20 de l'ensemble 30 de la figure 2.

Comme on peut le voir sur les parties en coupe transversale des figures 3 et 4 ainsi que sur la zone en coupe longitudinale de la figure 5, l'aube 50 présente une régularité de répartition du premier matériau et du  
25 deuxième matériau entre le noyau 52 et l'enveloppe 54.

Ce résultat très satisfaisant est obtenu, contre toute attente, par des techniques relativement simples à mettre en oeuvre, ce qui génère des propriétés mécaniques homogènes, notamment dans les différentes parties du voile 50a de l'aube, ainsi qu'une continuité entre les propriétés  
30 mécaniques de l'aube entre la voile 50a et le pied 50b de l'aube (voir figure 5).

Dans cet exemple de réalisation, on comprend qu'on a placé l'alliage en aluminium dans la partie centrale de l'aube, ce qui permet de bénéficier des propriétés de flexion de l'aluminium alors qu'en surface, le  
35 composite à matrice métallique Al/SiC permet une plus grande rigidité et une meilleure tenue à l'impact et à l'érosion.

Il est bien entendu que, selon l'application à laquelle est destinée la pièce mécanique obtenue selon la présente invention, notamment de la partie requérant la rigidité la plus importante, on peut choisir de placer le composite à matrice métallique Al/SiC dans le noyau (au coeur de la pièce mécanique) ou bien dans l'enveloppe (en surface de la pièce mécanique).

La présente invention n'est pas limitée à l'utilisation d'éléments de renforcement sous la forme de particules de carbure de silicium, des particules d'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ou des carbures métalliques, tels que le carbure de tungstène, le carbure de tungstène, le carbure de bore ou le carbure de titane, pouvant également être utilisés.

Egalement, comme il a été exposé dans la partie d'introduction, la présente invention s'applique également à la réalisation d'une pièce mécanique réalisée entièrement en un composite à matrice métallique, lequel présente une composition progressive en éléments de renforcement depuis le centre du noyau vers la périphérie de l'enveloppe.

### REVENDICATIONS

1. Pièce mécanique (50, 110) présentant une direction principale  
5 le long de laquelle s'étendent une zone de cœur formant un noyau (52) et  
une zone périphérique formant une enveloppe (54) qui entoure ledit  
noyau (52), ledit noyau (52) et ladite enveloppe (54) présentant entre eux  
une liaison métallurgique, ledit noyau (52) étant réalisé dans un premier  
matériau présentant au moins une matrice métallique et ladite enveloppe  
10 (54) étant réalisée dans un deuxième matériau présentant au moins une  
matrice métallique, caractérisée en ce que lesdites matrices métalliques du  
premier et du deuxième matériaux présentent le même métal de base et  
en ce que l'un au moins parmi lesdits premier et deuxième matériaux est  
formé d'un composite à matrice métallique comprenant des éléments de  
15 renforcement dispersés dans ladite matrice métallique.

2. Pièce mécanique (50, 110) selon la revendication 1,  
caractérisée en ce que ledit métal de base est l'aluminium.

3. Pièce mécanique (50, 110) selon la revendication 2,  
caractérisée en ce que lesdites matrices métalliques du premier et du  
20 deuxième matériaux sont respectivement formées d'un premier alliage et  
d'un deuxième alliage, ledit premier alliage et ledit deuxième alliage  
appartenant aux alliages à base d'aluminium des séries 2000, 5000, 6000  
ou 7000 selon les normes ASTM.

4. Pièce mécanique (50, 110) selon la revendication 3,  
25 caractérisée en ce que ledit premier alliage et ledit deuxième alliage  
appartiennent à la même série d'alliage à base d'aluminium parmi lesdites  
séries 2000, 5000, 6000 ou 7000 selon les normes ASTM, en particulier à  
la série 2000.

5. Pièce mécanique (50, 110) selon l'une quelconque des  
30 revendications 1 à 4, caractérisée en ce que lesdits éléments de  
renforcement sont des particules de carbure de silicium (SiC), d'alumine  
(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ou de carbure métallique tel que carbure de tungstène, de bore ou  
de titane.

6. Pièce mécanique (50, 110) selon la revendication 5,  
35 caractérisée en ce que lesdits éléments de renforcement représentent au

plus 50% en poids de la composition dudit composite à matrice métallique.

5 7. Pièce mécanique (50, 110) selon la revendication 6, caractérisée en ce que lesdits éléments de renforcement représentent entre 5 et 35%, de préférence entre 10 et 20%, et de préférence de l'ordre de 15% en poids de la composition dudit composite à matrice métallique.

10 8. Pièce mécanique (50, 110) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisée en ce que l'un parmi lesdits premier et deuxième matériaux est formé dudit composite à matrice métallique comprenant lesdits éléments de renforcement dispersés dans ladite matrice métallique, l'autre parmi lesdits premier et deuxième matériaux étant formé seulement de ladite matrice métallique.

15 9. Pièce mécanique (50, 110) selon la revendication 8, caractérisée en ce que ledit premier matériau est formé seulement de ladite matrice métallique qui comporte l'aluminium comme métal de base et en ce que ledit deuxième matériau est formé dudit composite à matrice métallique comprenant lesdits éléments de renforcement dispersés dans ladite matrice métallique, ladite matrice métallique ayant l'aluminium  
20 comme métal de base et lesdits éléments de renforcement étant formés de particules de carbure de silicium (SiC).

25 10. Pièce mécanique (50, 110) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisée en ce que lesdits premier et deuxième matériaux sont formés dudit composite à matrice métallique comprenant lesdits éléments de renforcement dispersés dans ladite matrice métallique, lesdits éléments de renforcement représentant un pourcentage en poids de la composition dudit composite à matrice métallique différent dans ledit noyau (52) et dans ladite enveloppe (54).

30 11. Pièce mécanique (50, 110) selon la revendication 10, caractérisée en ce que lesdits éléments de renforcement représentent un pourcentage en poids de la composition dudit composite à matrice métallique progressif dans ledit premier matériau et dans ledit deuxième matériau, depuis le centre dudit noyau (52) vers la périphérie de ladite enveloppe (54).

35 12. Pièce mécanique (50, 110) selon la revendication 10 ou 11, caractérisée en ce que ledit premier matériau présente, pour lesdits

éléments de renforcement, un pourcentage en poids de la composition dudit composite à matrice métallique plus important que dans ledit deuxième matériau.

5 13. Pièce mécanique (50, 110) selon la revendication 10 ou 11, caractérisée en ce que ledit deuxième matériau présente, pour lesdits éléments de renforcement, un pourcentage en poids de la composition dudit composite à matrice métallique plus important que dans ledit premier matériau.

10 14. Aube (50, 110) constituée d'une pièce mécanique selon l'une quelconque des revendications 1 à 13.

15 15. Compresseur basse pression comprenant des aubes fixes et/ou mobiles selon la revendication 14.

16. Soufflante (104) de turboréacteur comprenant des aubes (110) selon la revendication 14.

15 17. Procédé de fabrication d'une pièce mécanique (50, 110) selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, caractérisé en ce qu'il comporte successivement les étapes suivantes :

a) on réalise par compactage un demi-produit contenant un noyau (52) et une enveloppe (54), ledit noyau (52) et ladite enveloppe (54) présentant  
20 entre eux une liaison métallurgique, ledit noyau (52) étant réalisé dans un premier matériau présentant au moins une matrice métallique et ladite enveloppe (54) étant réalisée dans un deuxième matériau présentant au moins une matrice métallique, lesdites matrices métalliques du premier et du deuxième matériaux présentant le même métal de base et l'un au  
25 moins parmi lesdits premier et deuxième matériaux étant formé d'un composite à matrice métallique comprenant des éléments de renforcement dispersés dans ladite matrice métallique,  
b) on réalise le forgeage du demi-produit pour obtenir une ébauche, et  
c) on usine ladite ébauche pour aboutir à un produit fini formant ladite  
30 pièce mécanique .

18. Procédé de fabrication selon la revendication 17 en vue de l'obtention d'une pièce mécanique selon la revendication 11, caractérisé en ce que ladite étape a) consiste à former conjointement le noyau (52) et l'enveloppe (54) par la technique de métallurgie des poudres.

35 19. Procédé de fabrication selon la revendication 17 en vue de l'obtention d'une pièce mécanique selon l'une quelconque des

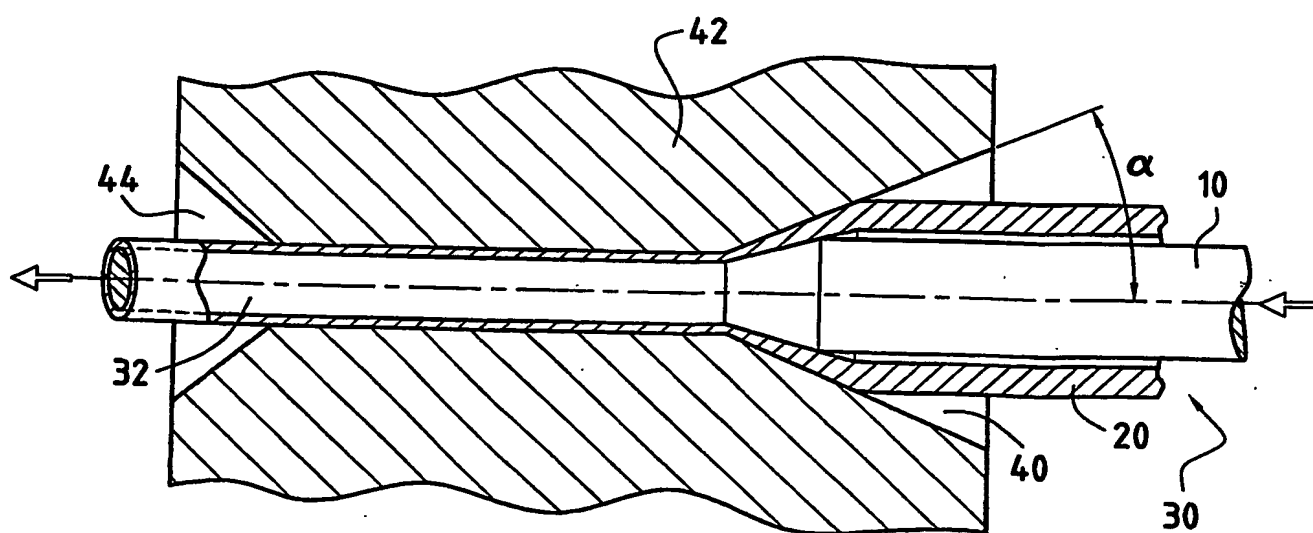
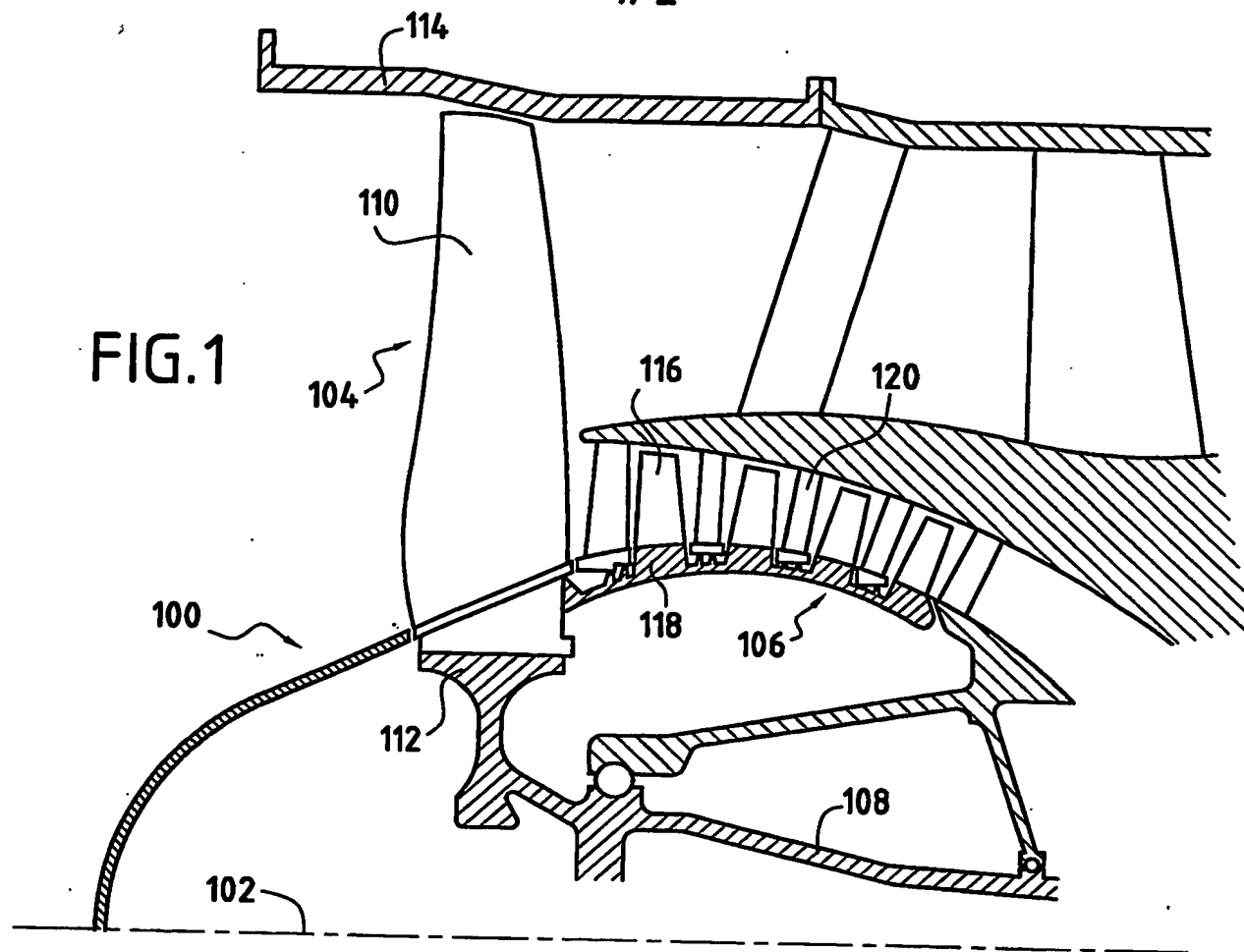
revendications 1 à 10, caractérisé en ce que ladite étape a) consiste à réaliser successivement les sous-étapes suivantes :

- 5 a1) former une tige (10) s'étendant selon une direction longitudinale dans ledit premier matériau, ladite tige (10) étant destinée à former ledit noyau (52) placé au cœur de la pièce mécanique ;
- a2) former un manchon (20) s'étendant selon une direction longitudinale dans ledit deuxième matériau, ledit manchon (20) étant destinée à former l'enveloppe (54) de la pièce mécanique en entourant ledit noyau (52) ;
- 10 a3) introduire la tige (10) dans le manchon (20) pour former un ensemble (30), et
- a4) passer à travers un orifice de section réduite ledit ensemble (30) pour diminuer au moins une dimension dudit ensemble selon une direction perpendiculaire à ladite direction longitudinale et afin de créer une liaison métallurgique entre ladite tige (10) et le dit manchon (20).

15 20. Procédé selon l'une quelconque des revendications 17 à 19, caractérisé en ce que ladite sous-étape a4) consister à effectuer un laminage ou un filage.

21. Procédé selon l'une quelconque des revendications 17 à 20, caractérisé en ce que ladite étape b) consister à effectuer un matriçage.

1/2



**FIG.2**

2/2

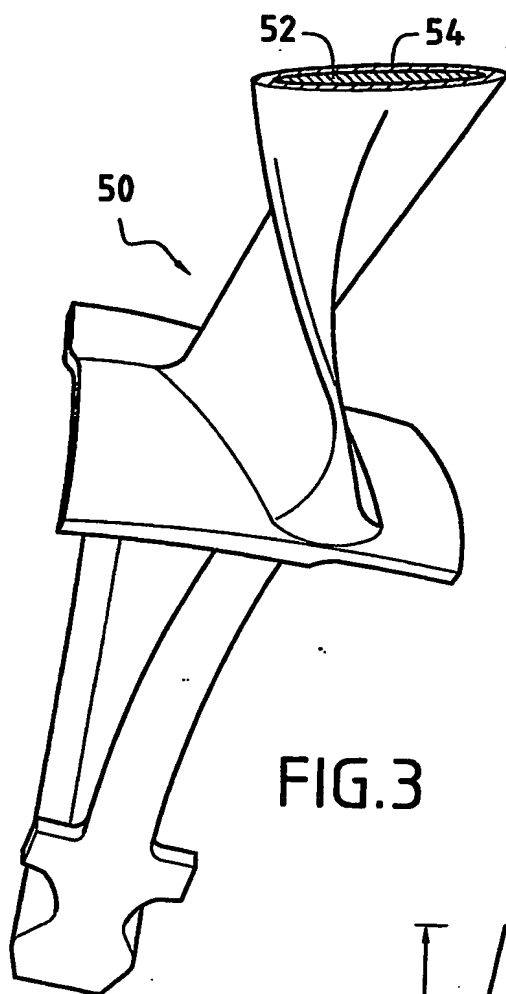


FIG. 3

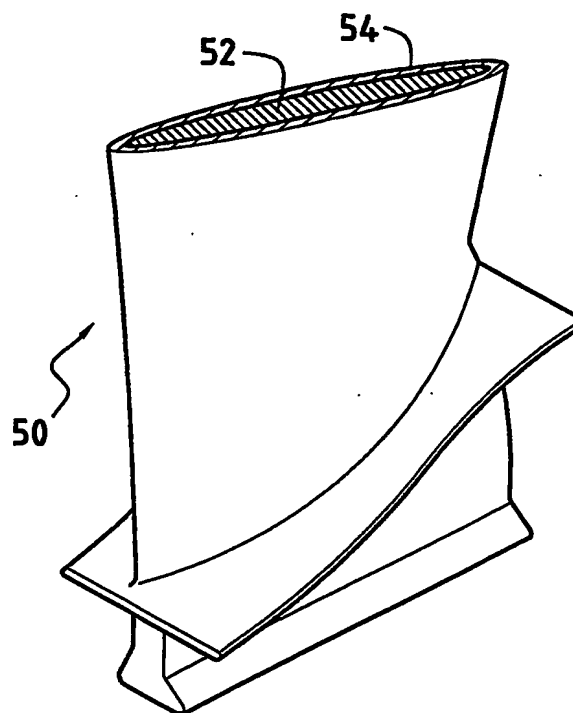


FIG. 4

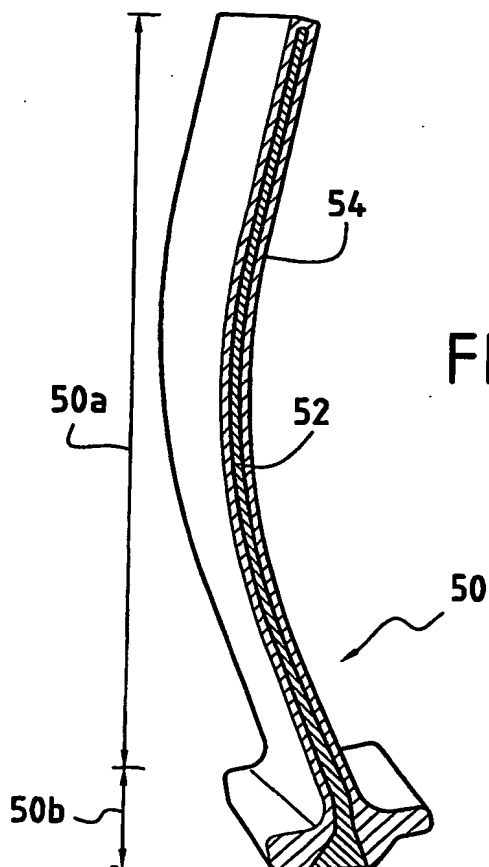


FIG. 5

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**